

COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DE FACHADAS CONFRONTANTES DE EDIFÍCIOS E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR

Sérgio M. Bittencourt (1); Francisco A. G. da Silva (2)

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, CAC, Cidade Universitária, Recife, PE, fone-8121268771, fax-8121268303.
e-mail:sbit@hotmail.com.br

(2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia – Campus I, fone-8332167393, fax-8332167179.
e-mail:ffagos@yahoo.com.br

RESUMO

Através de séries horárias de dados de temperatura do ar e de temperaturas superficiais medidas no local de investigação utilizando-se de termômetro de superfície digital infravermelho, de câmera de termografia infravermelha e de cinco mini-estações meteorológicas instaladas nas fachadas confrontantes de dois edifícios inseridos na malha urbano do bairro de Boa Viagem, na cidade do Recife (PE), foram feitas observações de temperaturas do ar e superficiais objetivando analisar a influência dos materiais constituintes das suas envoltórias e das alturas edificadas, na formação de ilha de calor urbano. Dos resultados obtiveram-se a demonstração por um lado, de que as porções mais altas das fachadas dos referidos edifícios e as superfícies revestidas com material de cor escura, em comparação com as de cor clara, registraram as maiores temperaturas médias superficiais e, por outro, de que as porções das fachadas constituídas pela estrutura de concreto armado alcançaram menor temperatura média superficial, do que as constituídas por paredes em alvenaria de tijolo cerâmico, pelo que se pôde concluir que a elevação da temperatura das referidas fachadas influenciou, diretamente, no aquecimento do ar contribuindo para a formação de ilha de calor local.

ABSTRACT

This paper aims to investigate the influence of materials and buildings heights in the formation of urban heat islands. The adopted method consisted of measurements of air temperature through five meteorological mini-stations installed in the confronting façades of two buildings within the urban context of the area of Boa Viagem, Recife, measurements of superficial temperature of these façades through infra red thermometer and infra red camera, and comparison with the data taken from the meteorological station at the local airport (reference station). The results gotten show that the highest portions of the buildings façades and surfaces coated with materials of dark color in comparison with the clear color ones, had registered highest superficial mean temperature, and the façades with walls constituted of armed concrete structure reached minor superficial mean temperature that the ones constituted of masonry of ceramic brick, despite the same covering material. It can be concluded that the rise of the temperature of confronting façades of the buildings influenced directly the local air temperature, contributing for the formation of heat island between them.

1. INTRODUÇÃO

Com o processo de verticalização que ocorre em grande parte das capitais brasileiras, com as famílias migrando de residências unifamiliares para edificações verticais multifamiliares, tem-se adaptado o parcelamento do solo existente a um novo modelo verticalizante, bastante diferente daquele para o qual foi concebido. Este processo tem levado a um contínuo adensamento do espaço urbano e favorecimento à formação de microclimas diferenciados, com conseqüências indesejáveis para o clima das cidades.

Para Arnfield (2003) os principais parâmetros que influenciam o clima urbano são a geometria urbana e as propriedades térmicas dos materiais utilizados pelo homem. A absorção da radiação solar durante o período diurno pelas superfícies “rígidas” em alta concentração no meio urbano e presentes nas estruturas maciças dos edifícios, sistemas viários e demais elementos urbanos, é a raiz primária das ilhas de calor nas cidades (Wong e Yu, 2003). Para Olgyay (1998) o aumento de temperatura nas cidades é decorrente dessas superfícies construídas pelos homens, que na maioria são compostas por materiais termicamente absorventes.

Segundo Simpsom e Mcpherson (1997), a radiação solar incidente nas envoltórias dos edifícios, de forma direta, difusa ou refletida, e sua resposta através de radiação térmica de onda-longa são condicionantes para o estabelecimento de um microclima específico em volta dos edifícios. Diversos autores como Givoni (1998) e Wong e Yu (2003) definem “Ilha de Calor Urbano” como um fenômeno onde, na área urbana, a temperatura do ar se apresenta maior do que aquela observada nas áreas rurais do entorno. O campo de radiação refletida dentro de uma área urbana edificada é muito complexo, de acordo com Givoni (1998), pois a radiação refletida pelas paredes que compõem as fachadas dos edifícios depende da refletância das superfícies e da trajetória solar, e estas variáveis estão em constante mutação de edifício para edifício, ao longo do dia.

Prado e Ferreira (2005) sugerem a redução das ilhas de calor urbano através de uma melhor adequação dos materiais comumente utilizados nos edifícios. Contudo Assis (2000) alerta que, nas regiões tropicais, além do fenômeno noturno da ilha de calor urbano é necessário também o estudo no período diurno, para melhor entendimento e controle das condições climáticas das cidades tropicais.

Este artigo enfoca o comportamento térmico entre dois edifícios característicos do contexto urbano do bairro de Boa Viagem, em Recife, (PE) e objetiva avaliar a influência dos materiais constituintes das envoltórias dos edifícios e altura das edificações na formação de ilhas de calor urbano.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 Os Edifícios Estudados

Procurou-se investigar a inter-relação térmica entre dois edifícios residenciais multifamiliares inseridos em uma parcela urbana do bairro de Boa Viagem, em Recife, e que fossem representativos do modelo de ocupação do solo que vem ocorrendo no bairro. Para o estudo foram escolhidos o Edifício Castelo de Avignon (Edifício C) de 17 pavimentos e o Edifício Saint Denis (Edifício D) de 25 pavimentos, ambos situados em lotes adjacentes no bairro de Boa Viagem a uma distância em torno de 220m da orla marítima (Figuras 01 e 02).

O Edifício C tem as suas envoltórias revestidas em cerâmica Portobello 10x20cm na cor azul real e neve (branco) dispostas alternadamente na fachada estudada, enquanto o Edifício D tem a sua fachada confrontante com a do Edifício C em revestimento acrílico na cor bege, exceto por duas faixas de aproximadamente 1,10m de largura, nas extremidades da fachada e no coroamento do edifício, cujo revestimento é em cerâmica Portobello 10x10cm na cor azul petróleo (cor próxima do preto).



Figura 01: Mapa de Boa Viagem com situação dos edifícios em estudo adaptado a partir do mapa síntese do Projeto Capital da Prefeitura Municipal do Recife e UNIBASE da CONDEPE/FIDEM.

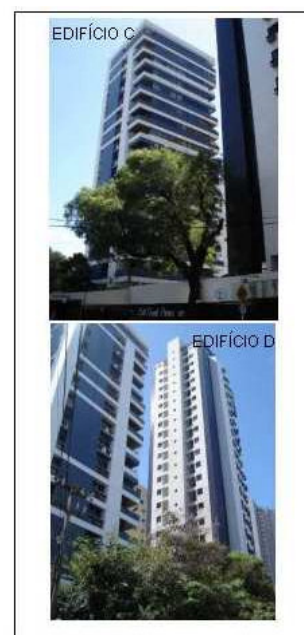


Figura 02: Imagens dos edifícios estudados junho 2006.

Os edifícios estudados estão situados a aproximadamente 1,9km do aeroporto local, e esta proximidade possibilitou a utilização dos dados coletados na estação meteorológica do aeroporto, como dados de referência para comparação com os obtidos no local de estudo.

2.2 Instrumentos Utilizados e Locais de Monitoramento

Para o monitoramento do comportamento térmico entre os edifícios estudados foram instaladas nas suas fachadas confrontantes cinco mini-estações meteorológicas modelo WS-2310 da La Crosse Technology. Na fachada Leste do Edifício C foram posicionadas uma no 4º pavimento (estação 4C) na janela do apartamento 202 e outra no 17º pavimento (estação 17C) na janela do salão de festas do edifício. Na fachada Oeste do Edifício D foram instaladas as demais mini-estações, uma no 4º pavimento na janela do apartamento 202 (estação 4D), outra no 17º pavimento, na janela do apartamento 1502 (estação 17D), e a última (estação 25D), na janela da copa do salão de festas do 25º pavimento (Figuras 03 e 04). Para a medição da temperatura radiante entre os dois edifícios foi utilizado um termômetro de globo padrão de 150 mm posicionado no pavimento vazado (2º pavimento) do Edifício D.

Os dados de temperatura das superfícies das fachadas confrontantes dos edifícios e do piso do 2º pavimento entre eles foram obtidos através de termômetro digital infravermelho modelo MT-350 da Minipa. Foram realizadas leituras da temperatura de superfície do piso nos pontos A e B, junto ao termômetro de globo (Figura 04) e das superfícies das fachadas nos pontos 4C, 4D, 17C, 17D e 25D, junto das respectivas mini-estações. Ainda para avaliar o comportamento térmico do trecho de fachada do Edifício D revestido em cerâmica (faixa escura) foram também realizadas leituras nos pontos 4D2, 17D2 e 25D2.

Para avaliação da distribuição térmica das superfícies das fachadas estudadas, foram registradas imagens infravermelhas das mesmas, através de uma câmera de termografia infravermelha modelo ThermaCAM S45 da Flir Systems, e estas imagens obtidas foram analisadas com o auxílio do software ThermaCAM™ QuickView 1.1+ SR1.



Figura 03: Posicionamento das mini-estações nas fachadas e sistema de fixação – maio 2005.

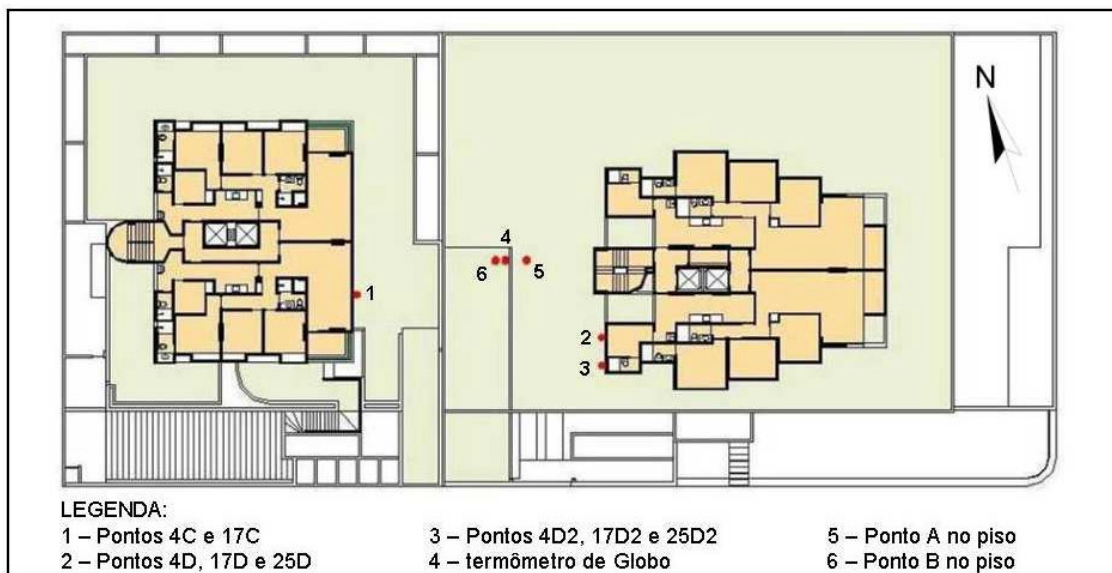


Figura 04: Implantação dos dois edifícios com indicação dos pontos de monitoramento.

2.3 Período de Medição

As mini-estações meteorológicas foram ajustadas para medições horárias, 24 horas por dia ininterruptas durante 28 dias, de 12 de abril de 2005 até 09 de maio de 2005. No mesmo período de 28 dias foram realizadas as medições de temperatura radiante e das temperaturas superficiais das fachadas e do piso entre os edifícios nos horários de 6h, 11h, 12h, 13h, 14h, 15h, 16h e 20h, exceto nos pontos 4D2, 17D2 e 25D2 que foram realizadas durante 22 dias de 18 de abril de 2005 até 09 de maio de 2005 mantendo-se os mesmos horários.

As imagens térmicas das fachadas em estudo dos edifícios foram realizadas no dia 10 de maio de 2005. Do total de imagens efetuadas, 16 imagens térmicas foram da fachada Leste do Edifício C realizadas, das 14:25h até 14:41h, num intervalo de tempo aproximado de 16 minutos. Entre 14:47h e 15:20h, num intervalo de tempo aproximado de 15 minutos, foram realizadas 26 imagens térmicas da fachada Oeste do Edifício D.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Temperaturas Superficiais das Fachadas

A análise das temperaturas superficiais das fachadas confrontantes dos edifícios, através dos dois pontos de monitoramento do Edifício C e dos seis pontos do Edifício D mostrou que, para o período e horários de medição, quanto mais altos foram os pontos das fachadas, maiores foram as suas temperaturas superficiais. O maior tempo de exposição à radiação solar direta foi o principal responsável pelas mais altas temperaturas superficiais nessas porções.

O Edifício C apresentou temperatura média superficial no ponto 17C (34,0° C) superior à do ponto 4C (31,4° C). Da mesma forma, a comparação da temperatura superficial do revestimento acrílico do Edifício D mostrou a maior temperatura média no ponto mais elevado investigado, 25D (35,0° C), valor superior ao encontrado nos pontos 17D (33,3° C) e 4D (35,0° C).

O mesmo fenômeno ocorreu nos pontos da fachada com revestimento em cerâmica na cor azul petróleo (revestimento escuro) para os 22 dias de medição. O ponto 25D2 apresentou temperatura média superficial no período (40,6° C), acima da encontrada em 17D2 (36,4° C). A temperatura média superficial encontrada no ponto 4D2 apresentou valor inferior aos demais pontos, possivelmente devido a se encontrar parcialmente sombreado pelas folhagens de uma árvore próxima, o que comprometeu a sua utilização para os objetivos propostos (Figura 05).

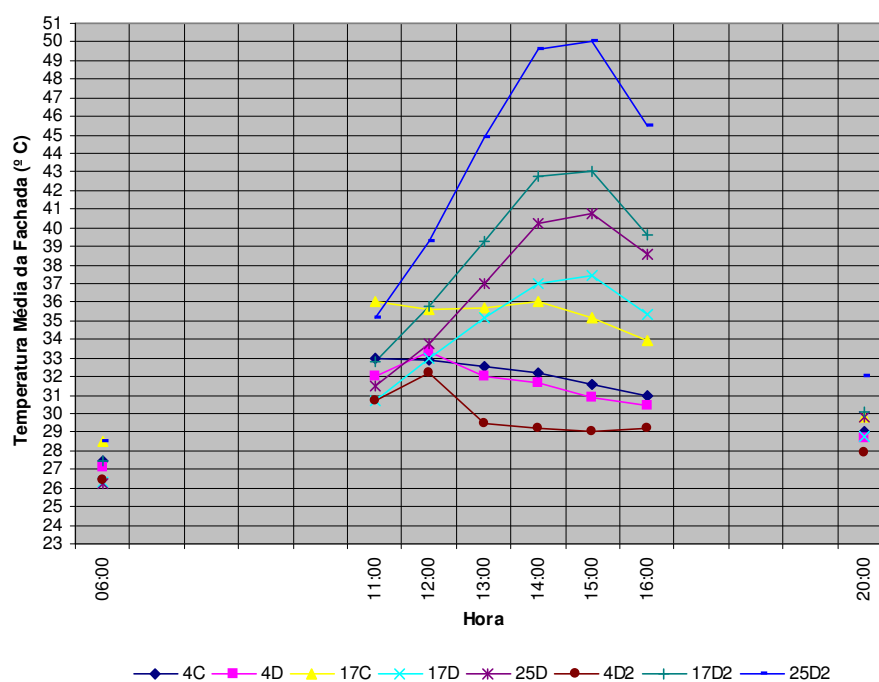


Figura 05: Temperatura média das fachadas – 18/04/05 à 09/05/05.

A investigação mostrou que o aumento da temperatura superficial nos pontos das fachadas foi causado prioritariamente pela radiação solar direta, nos momentos em que estiveram ensolarados. Nos momentos de sombra desses pontos, a radiação solar refletida pela fachada do edifício confrontante foi a variável que mais contribuiu para o aumento de sua temperatura superficial. As temperaturas superficiais das fachadas dos dois edifícios se correlacionaram entre si, em maior ou menor intensidade, sempre uma influenciando a temperatura da outra.

A fachada estudada do Edifício C, no período da manhã, teve sua temperatura superficial dependente do tempo de exposição à radiação solar direta. Apesar do ponto 17C ter recebido radiação solar direta apenas nesse período, ao iniciar a tarde, sua temperatura superficial elevada permaneceu praticamente estável decorrente principalmente da radiação solar refletida pela fachada ensolarada do Edifício D, de cor clara e alta refletância. Nos horários seguintes, a sua temperatura média superficial aumentou

às 13h e novamente atingiu seu valor máximo (36,2° C) às 14h, apesar de permanecer em região de sombra durante esse período (Figura 05).

Para o Edifício D, além das variáveis citadas, outras duas podem ter influenciado a temperatura superficial dos pontos investigados, de forma que, os pares de pontos 25D2/25D e 17D2/17D, apesar do mesmo tempo de radiação solar direta incidente sobre eles durante os horários monitorados apresentaram temperaturas médias superficiais mais elevadas nos pontos do 25° pavimento, com diferença média máxima de 7,0° C entre 25D2 e 17D2, e de 3,4° C entre 25D e 17D, ambas às 15h.

A sombra que se estendeu até o 16° pavimento do Edifício D (próximo à 17D2 e 17D) manteve a temperatura superficial mais reduzida em comparação à porção relativa aos andares acima, que permaneceu ensolarada, e pode ter influenciado a temperatura nos pontos 17D2 e 17D (Figura 06). O ar aquecido desses pontos, em movimento ascendente, permitiu que o espaço fosse ocupado pelo ar menos aquecido da região inferior, facilitando assim as trocas térmicas por convecção entre o ar e a fachada com seu conseqüente resfriamento. O mesmo não ocorreu nos pavimentos mais elevados (pontos 25D2 e 25D) onde o ar aquecido e praticamente estagnado dificultou as trocas térmicas por convecção com a fachada também aquecida. A baixa velocidade média do ar no ponto 25D, de 0,1 m/s, sem capacidade para remoção do ar aquecido, contribuiu para a ocorrência do fenômeno.

A diferença de temperatura superficial entre os pontos 25D2 e 25D e os pontos 17D2 e 17D pode ainda ser explicada pela formação de um vórtice a sotavento do Edifício D que estaria transportando o ar aquecido nas cobertas dos edifícios C e D para os pontos 25D2 e 25D, e junto com o ar aquecido ascendente, do trecho da fachada ensolarado logo abaixo, estaria dificultando as trocas térmicas por convecção entre a superfície da fachada e o ar no ponto (Figura 07). A correlação forte ($r=0,976$) observada entre a temperatura da superfície da fachada nos pontos 25D e 17D reforçam a hipótese.



Figura 06: Fachada do Edifício D com sombra entre o 11° e 12° pavimentos às 14h e 16° pavimento às 16h – 23 de abril de 2005.

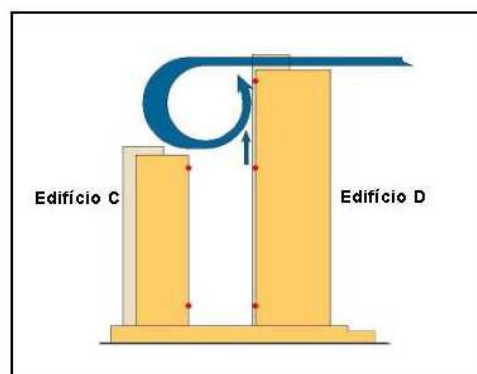


Figura 07: Desenho esquemático do vórtice a sotavento do Edifício D.

3.2 Distribuição Térmica das Superfícies das Fachadas

A análise das imagens infravermelhas mostrou que a temperatura superficial das fachadas não é uniforme, e, mesmo para pontos muito próximos de uma mesma superfície variam através de sucessivos gradientes de temperatura em todas as direções. As regiões mais próximas das arestas dos edifícios apresentaram maior variação de temperatura superficial decorrente da condução térmica de uma superfície para a outra que compõe a aresta (Figura 08).

Nas imagens infravermelhas do Edifício D observa-se que os trechos de paredes constituídas pelas vigas e pilares em concreto armado da estrutura do edifício apresentaram temperatura de superfície inferior à encontrada nos trechos em alvenaria de tijolo cerâmico furado, com o mesmo revestimento. A diferença foi em média de 4,1% nos trechos da fachada com revestimento acrílico, e de 4,5% nos trechos com revestimento em cerâmica Portobello 10x10cm na cor azul petróleo (azul próximo do preto). Esta diferença é tão marcante, que podem ser observadas claramente vigas, degraus da escada, assim como os pilares nas extremidades dos volumes que compõem a fachada do edifício (Figura 09).

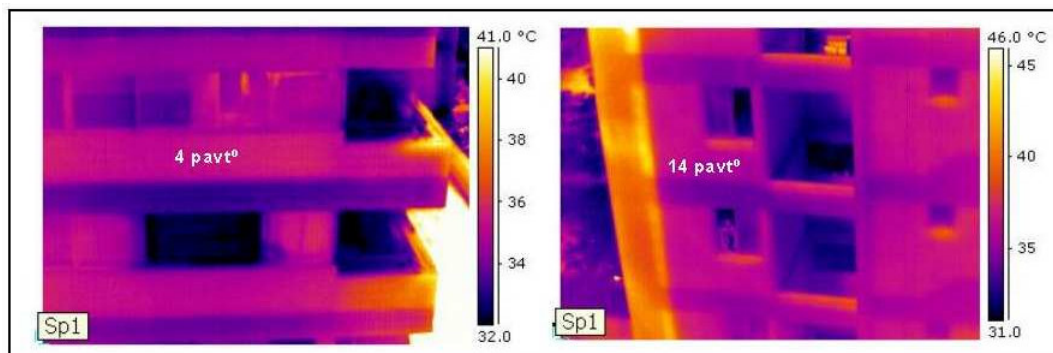


Figura 08: Imagens infravermelhas e mostrando as superfícies dos peitoris das varandas e janelas, e face superior das vigas mais aquecidas – 10 de maio de 2005.

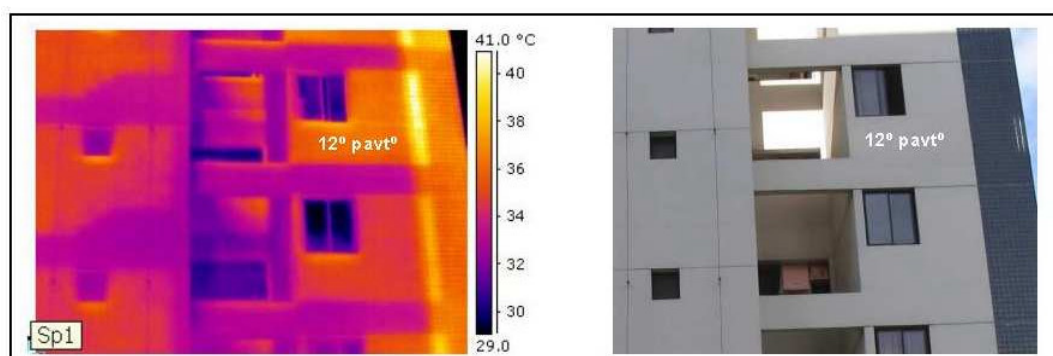


Figura 09: Imagem infravermelha e convencional mostrando os trechos menos aquecidos da superfície da fachada do Edifício D e estrutura em concreto armado – 10 de maio de 2005.

O estudo do desempenho térmico dos materiais de revestimento das fachadas confrontantes dos edifícios C e D mostrou ser a absorvância do material de revestimento, o fator que exerce maior influência no ganho de calor das fachadas que recebem radiação solar direta. Na comparação do desempenho térmico do revestimento em cerâmica cor azul petróleo (escura) com o revestimento acrílico cor bege (claro) do edifício D, nos 22 dias de monitoramento, pôde ser observado que o revestimento escuro (pontos 25D2 e 17D2) apresentaram valores médios de temperatura superficial sempre superiores aos encontrados nos pontos 25D e 17D respectivamente. O ponto 25D2 apresentou temperatura superficial em média 6,0° C acima da encontrada no ponto 25D, enquanto no ponto 17D2 foi constatada uma diferença em média de 3,4° C acima da temperatura média superficial registrada em 17D (Figura 10).

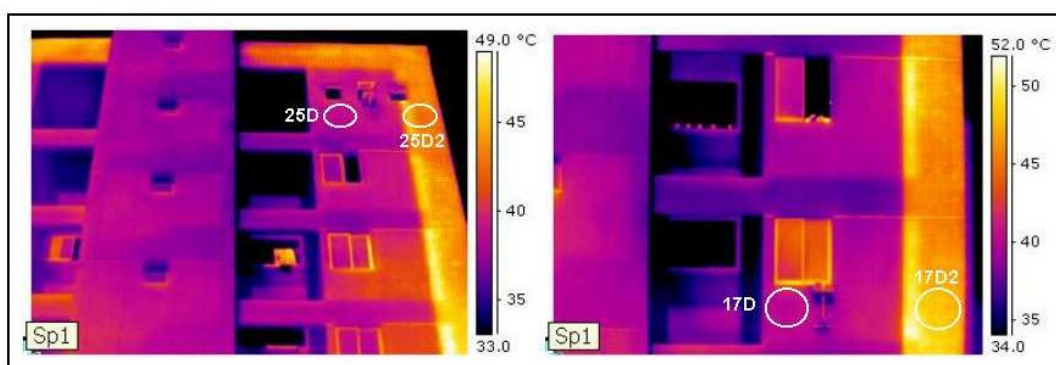


Figura 10: Imagem infravermelha onde se observa a diferença da temperatura entre o revestimento escuro e o claro nos pontos 25D e 25D2, e nos pontos 17D e 17D2 – 10 de maio de 2005.

Para o Edifício C foi comparado o desempenho térmico dos materiais de revestimento da fachada através da temperatura média superficial dos diversos pontos da fachada, observados nas imagens infravermelhas. A temperatura média superficial registrada no revestimento em cerâmica Portobello azul real (escuro) foi aproximadamente 34° C, superior em mais de 6% à registrada no revestimento em cerâmica Portobello neve (branca), com 32° C em média (Figura 11).

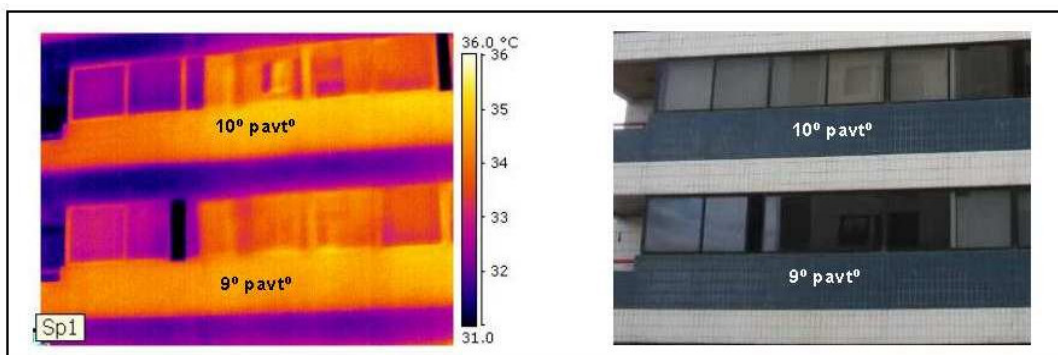


Figura 11: Imagem infravermelha e convencional mostrando o comportamento térmico do revestimento cerâmico azul e branco do Edifício C – 10 de maio de 2005.

3.3 A Temperatura do Ar entre os Edifícios

A temperatura do ar não permaneceu uniforme no espaço compreendido entre os edifícios. Durante o período noturno as diferenças foram pequenas, mas durante o período diurno, com a incidência da radiação solar, os diversos pontos do espaço entre as fachadas confrontantes tiveram comportamentos distintos, com diferenças de temperatura do ar de até 6,7° C no mesmo dia e horário (Figura 12).

A interação térmica entre as fachadas confrontantes é significativa devido à proximidade entre elas, de forma que a radiação solar refletida pela fachada ensolarada, em conjunto com a radiação de onda-longa emitida por esta mesma fachada aquecida, pode aquecer a fachada confrontante do outro edifício e elevar a temperatura média do ar por convecção nos pontos próximos a ela.

A temperatura média do ar no ponto 17C da fachada se elevou mais rapidamente que a dos demais pontos, no início da manhã, com estabilização a partir das 8h até 13h em torno de 29,5° C. A temperatura média do ar nesse ponto alcançou o seu valor máximo por volta das 11h, quando já não recebia mais radiação solar direta. É importante destacar que às 11h, apesar do ponto 17C se encontrar em região de sombra nesse momento, a temperatura do ar nesse ponto voltou a se elevar coincidindo o momento em que o piso entre os edifícios recebeu radiação solar direta, e logo a seguir, a fachada do Edifício D. É significativa a repercussão da reflexão da radiação solar na elevação da temperatura do ar no ponto. Apesar da contribuição da radiação térmica de onda-longa emitida a partir das superfícies do entorno, a radiação refletida pela superfície de cor clara com alta refletância, predominante na fachada do Edifício D foi a principal variável com repercussão sobre o ponto 17C.

O aumento da temperatura média do ar nos pontos próximos à região mais baixa das fachadas ocorre com o aumento da altura solar. Nesse período do dia, a radiação solar refletida (onda-curta) e a emitida (onda-longa) tanto pelo piso como pelas fachadas são as variáveis mais importantes na determinação da temperatura do ar nessa região entre os edifícios. A análise de correlação entre a temperatura superficial do piso nos pontos A e B e a temperatura do ar, mostra que as mais fortes correlações ocorrem com a temperatura do ar nos pontos 4D e 4C, situados nos pavimentos mais baixos. A correlação forte observada entre a temperatura radiante registrada no termômetro de globo, com a temperatura do ar no ponto 4D, e de moderada a forte no ponto 4C, evidenciam as trocas térmicas por convecção entre o piso (sempre mais aquecido) e o ar.

Entre 11h e 16h as temperaturas médias do ar próximo ao Edifício D foram sempre superiores às registradas próximo ao Edifício C, e as maiores temperaturas do ar corresponderam aos pontos próximos aos pavimentos mais elevados do Edifício D, diferente do que ocorreu próximo à fachada do Edifício C onde a temperatura média do ar praticamente não variou com a altura. A temperatura do ar nesse horário, nos pontos 25D e 17D está relacionada à contínua exposição à radiação solar direta da fachada nesses pontos, e aos mesmos fenômenos que propiciaram a elevação da temperatura superficial da fachada no ponto 25D acima do valor encontrado no ponto 17D.

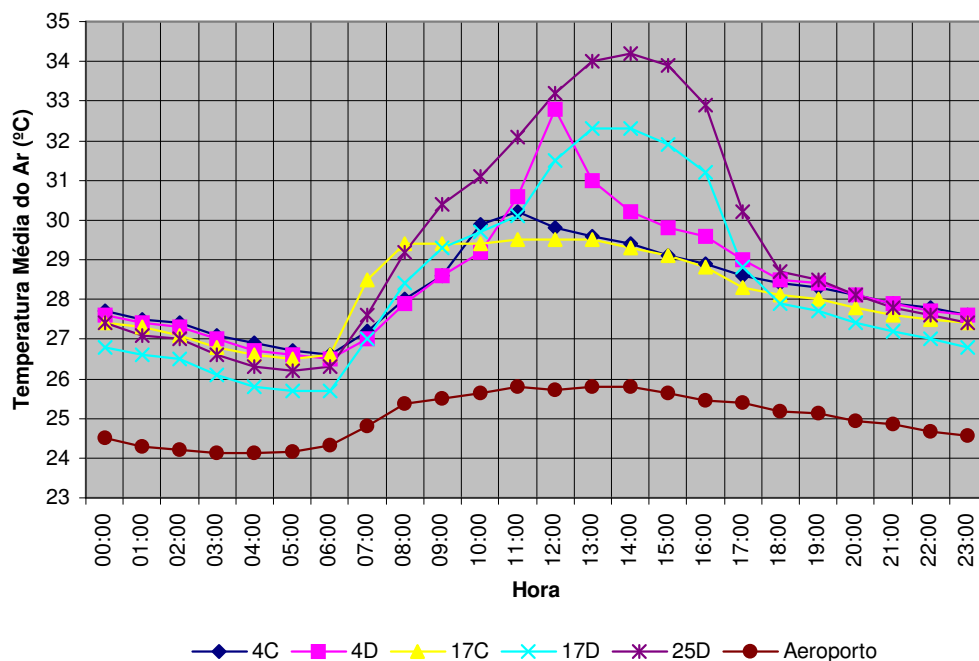


Figura 12: Temperatura média do ar horária – 12/04/05 à 09/05/05.

Fonte: Medições de campo pelo autor e dados da subdivisão de meteorologia do CINDACTA III.

O resfriamento das fachadas dos edifícios pelo vento se apresentou limitado, porém significativo, pela baixa velocidade do vento no local. Apesar dessa baixa velocidade, o vento exerceu papel importante embora limitado, na remoção das massas de ar quente, próximas à fachada do Edifício C favorecendo a diminuição da temperatura média do ar nesses pontos, enquanto que nos pontos próximos à fachada do Edifício D, a velocidade do vento próxima de zero impossibilitou qualquer ação para redução da temperatura do ar.

3.4 A Temperatura do Ar de Referência

As temperaturas médias do ar diárias registradas pelo conjunto de mini-estações instaladas entre os edifícios (28,5° C em média aritmética) foram sempre superiores às médias obtidas na Estação Meteorológica do Aeroporto (25,0° C) durante os 28 dias de monitoramento. A diferença de 3,5° C evidencia a formação de ilha de calor urbano no espaço compreendido entre os edifícios estudados.

A partir de 6h a diferença de temperatura média do ar aumentou continuamente até atingir uma diferença máxima de 5,7° C às 12h (22% a mais), quando então voltou a diminuir e estabilizar às 18h até 2h, com diferença em torno de 2,9° C a mais entre os edifícios (em torno de 10% a mais). Só a partir de 2h é que se observou uma queda contínua da diferença até atingir um valor mínimo de 2,0° C, um pouco mais de 8% acima da temperatura registrada no aeroporto. É importante observar que o aeroporto por se encontrar inserido dentro da malha urbana do Recife tem possivelmente sua temperatura do ar influenciada para mais por este contexto.

4. CONCLUSÕES

Pelos estudos realizados pôde-se concluir que a temperatura do ar no espaço compreendido entre os edifícios é prioritariamente definida pela temperatura das superfícies das fachadas confrontantes e do piso entre eles. Assim, variáveis como o revestimento e constituição das envoltórias dos edifícios, além de sua morfologia se mostraram determinantes para a definição da temperatura do ar local.

Devido ao baixo FVC dos edifícios estudados, os pavimentos mais elevados ficaram mais expostos à radiação solar direta que os mais baixos, e dessa forma, quanto mais altos foram os pontos das fachadas, maiores foram as suas temperaturas superficiais.

As superfícies das fachadas revestidas em material de cor escura, com maior absorvância para radiação de onda-curta que a cor clara, apresentaram-se termicamente inadequadas, sendo a cor escura a variável que exerceu maior influência no ganho de calor das fachadas dos edifícios quando sob incidência de radiação solar direta. Contudo, devido ao pequeno afastamento entre os edifícios e seu baixo FVC, mesmo os materiais de revestimento utilizados nas fachadas com maior fator de refletância para radiação de onda-curta, e maior fator de emissividade para radiação de onda-longa, se por um lado favoreceram a diminuição da carga térmica absorvida pelas fachadas, por outro lado, transferiram para a fachada confrontante grande parcela da carga térmica por elas refletida e emitida. Um maior afastamento entre os edifícios poderia favorecer o escoamento do vento, o que facilitaria a remoção das massas de ar quente, além de diminuir a transferência de calor entre as fachadas.

A capacidade de aquecimento das fachadas não dependeu apenas das propriedades térmicas dos seus revestimentos, já que as porções das fachadas com paredes constituídas pela estrutura de concreto armado do edifício, para os horários e o curto intervalo de tempo investigado, se mostraram ser mais favoráveis à menor temperatura superficial, que os trechos constituídos por paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos com o mesmo material de revestimento.

A atual disposição dos edifícios está conduzindo à formação de ilhas de calor urbano com aumento de temperatura do ar em até 22% em média no período diurno (32,6% no ponto 25D), e que no período noturno não consegue ser plenamente dissipada, permanecendo ainda um pouco mais de 8% acima da temperatura do ar do aeroporto. O pequeno afastamento entre os edifícios (baixo FVC), permitido pela lei de uso e ocupação do solo vigente na cidade do Recife, se mostrou inadequado, pois favorece a transferência de calor de um edifício para outro, com favorecimento à formação de ilhas de calor.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, Berkshire, v. 23, n. 3, p. 1-26, jan. 2003.
- ASSIS, E. S. *Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano*. 2000. 273 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- GIVONI, B. *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley & Sons, INC, 1998. 464 p.
- OLGYAY, V. *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A, 1998. 203 p. Título Original – Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism.
- PRADO, R. T. A.; FERREIRA, F. L. Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials. *Energy and Buildings*, v. 37, n. 4, p. 295-300, abr. 2005.
- SIMPSON, J. R.; McPHERSON, E. G. The effect of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson. Arizona. *Energy and Buildings*, v. 25, n. 2, p. 127-137, 1997.
- WONG, N. H.; YU, C. Study of urban heat island in Singapore. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 20., 2003, Santiago, Chile. *Proceedings...* Santiago: Passive and Low Energy Architecture, 2003. p. 1-6.